



ANEJO Nº3: ESTUDIO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO



Jesús Navarro Marco



ÍNDICE

1. OBJETO DEL INFORME.....	2
2. LOCALIZACIÓN	2
3. ANTECEDENTES E INTRODUCCIÓN.....	2
4. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA.....	3
4.1. Geomorfología:.....	3
4.2. Cartografía geológica:.....	4
4.3. Topografía:.....	5
5. IDENTIFICACIÓN DEL TERRENO.....	5
5.1. Trabajos de campo realizados	5
5.2. Ensayos de laboratorio realizados.....	6
5.3. Resultados obtenidos	6
6. DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO.....	9
6.1. Sondeo SM-1 del estribo Sur.	9
6.2. Sondeo SM-2 del estribo Norte.	10
7. ESTUDIO DE SOLUCIONES	11

1. OBJETO DEL INFORME

El trabajo llevado a cabo por el Taller de Diseño Estructural consiste en realizar una serie de propuestas para desarrollar un puente sobre el encauzamiento de la Rambla de Alcalá (situado en la Avenida Papa Luna, Benicarló), requiriéndose disponer un marco geotécnico y geológico.

El objeto del presente estudio geológico-geotécnico es el de conocer las características geológicas y geotécnicas del terreno de cimentación en la zona de ubicación del puente, con el propósito de asegurar el correcto dimensionamiento de las cimentaciones y de cualquier elemento auxiliar que se pudiera necesitar, permitiendo resolver las siguientes incógnitas para el diseño:

- Localización.
- Cartografía geológica.
- Definición estratigráfica.
- Diferenciación de niveles afectados y caracterización geomecánica.
- Características hidrogeológicas.
- Respuesta del terreno frente a las acciones impuestas por el puente.
- Condiciones y tipología del terreno como cimiento de las estructuras.
- Seguridad de las excavaciones.
- Excavabilidad de los materiales.
- Aprovechamiento de los materiales procedente de las excavaciones.

La finalidad del presente informe geológico-geotécnico es un reconocimiento que, además de incluir la enumeración y exposición de los resultados obtenidos en una campaña de trabajos de campo y laboratorio, también incluye la interpretación de los resultados obtenidos y recomendaciones relativas al diseño y/o ejecución de la obra que se realiza (el puente sobre el encauzamiento de la Rambla de Alcalá).

La mayor parte de los datos han sido obtenidos de diversas fuentes bibliográficas como Rodríguez Ortiz: Curso de Cimentaciones COAM'' (Rodríguez Ortiz, 1989), de apuntes de Diseño Estructural de Cimentaciones (Bonet Senach, 2015) y otras fuentes como internet Terrasit (Conselleria d'infraestructures, 2016), IGME ((España., s.f.), así como otra serie de libros utilizados. El resto de datos tomados han sido aportados para complementar los existentes y basados en la experiencia del Taller. En consecuencia, su uso solamente puede ser académico y exclusivo para el desarrollo del Trabajo Fin de Grado propuesto.

Se debe dejar claro que todo lo reflejado en este presente anejo ha sido tomado de un documento, un estudio geológico-geotécnico, dado por los tutores del taller donde se muestran datos necesarios para llevar a cabo un estudio de estas características. Aunque es cierto que muchos otros datos se han tenido que obtener por correlaciones y estimaciones (las que se han visto oportunas en cada caso) pues no eran dadas. Este estudio dado por los tutores del taller, se encuentra adjunto en un apéndice al anejo (apéndice nº:3.1).

2. LOCALIZACIÓN

La obra se sitúa en pleno centro urbano de Benicarló, muy próximo y sensiblemente paralela a la línea de costa. Está situada sobre la Avenida del Papa Luna sobre el encauzamiento de la Rambla de Alcalá (figura 1).



Figura 1. Localización de la estructura. Fuente: Topografía de la zona obtenida de Terrasit.

3. ANTECEDENTES E INTRODUCCIÓN

Con fecha de adjudicación 6 de abril de 2004, se ejecuta un estudio geológico-geotécnico sobre la Rambla de Alcalá (Benicarló) en su tramo final, desde el puente de la N-340 hasta la desembocadura, debido a la ejecución de las obras "Encauzamiento de la Rambla de Alcalá en zona urbana".

En el tramo que recorre la Avenida Papa Luna en Benicarló se desea reformar el paso por encima de la Rambla de Alcalá (cuyo puente actual se encuentra en estado pésimo). Para ello, el proyecto plantea la solución de un tipo de puente doble arco con su correspondiente tablero, arcos, estribos, posibles muros de contención...

La obra se sitúa en una avenida bastante transitada dentro del municipio de Benicarló, zona turística que cuenta con un gran desarrollo tanto urbanístico como comercial. La obra antigua, de muy reducida sección hidráulica, limitaba en gran medida el paso del agua en épocas de crecidas, por lo que se decidió llevar a cabo la construcción de un nuevo puente que permitiese un mejor funcionamiento hidráulico. En la siguiente imagen se puede observar la gran capacidad de obstrucción del puente (figura 2).



Figura 2. Fotografía sobre la vista general del puente antiguo sobre la Rambla de Alcalá. Fuente: Imagen dada por el profesorado para realizar el trabajo.

El puente fue uno de los puntos clave de las graves inundaciones que se produjeron en el mes de noviembre del año 2003, una fuerte tromba de agua provocó el rápido desbordamiento de la rambla (además de esta inundación, se produjeron varias más). El agua llegó a inundar propiedades situadas en las inmediaciones, ocasionando grandes daños en toda la zona. Estos hechos acentuaron la falta de capacidad hidráulica del puente, que no garantizaba una respuesta segura frente a crecidas. Los ciudadanos no estaban seguros con dicha obra debido al riesgo activo de inundación.

Además, como se puede comprobar en la imagen anterior (figura 2), es una obra en pésimas condiciones que se quedaba un poco obsoleta por lo que se requería su reforma (ya que está en una zona turística en el interior del municipio).

4. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

4.1. Geomorfología

Geomorfológicamente puede dividirse en las siguientes unidades:

- Llanura costera: Está constituida por amplias plataformas desarrolladas entre los relieves montañosos interiores y la línea de costa, con morfología prácticamente llana donde únicamente se localiza alguna loma aislada.
- Sierras y Valles Prelitorales: El área de estudio no se caracteriza por ser una zona montañosa, aunque se puede distinguir puntualmente la zona del Puig y de la Tossa.

El término de Benicarló se caracteriza por poseer un terreno plano-ondulado con pendientes inferiores al 8% mayoritariamente. Los relieves fuertemente ondulados, es decir, con pendiente mayor del 8%, son muy escasos.

A pesar de predominar la llanura costera, Benicarló presenta una gran variedad de figuras de relieve con diversidad de pendientes, lo que lleva a concluir que la zona de estudio no tiene una regularidad en cuanto a su geomorfología, aunque sí se observa una cierta concentración de las mismas (figura 3).

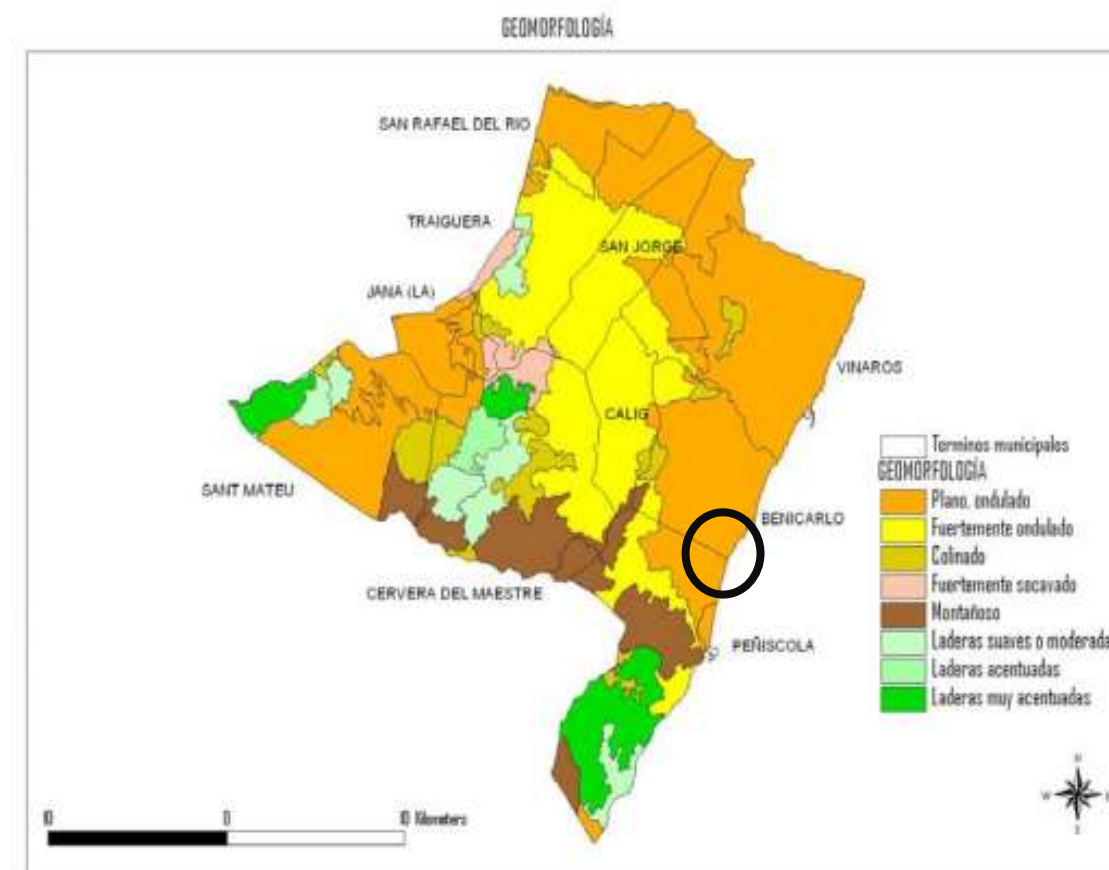


Figura 3. Geomorfología de la zona. Fuente: Elaboración propia sobre mapa geomorfológico obtenido de informe elaborado por el Ayuntamiento de Benicarló.

Como se puede observar, la zona de estudio (marcada con círculo negro) se encuentra dentro del terreno más predominante de la zona, terreno plano-ondulado.

4.2. Cartografía geológica

En un primer instante mostramos el plano original obtenido de la serie MAGNA 50 (figura 4):

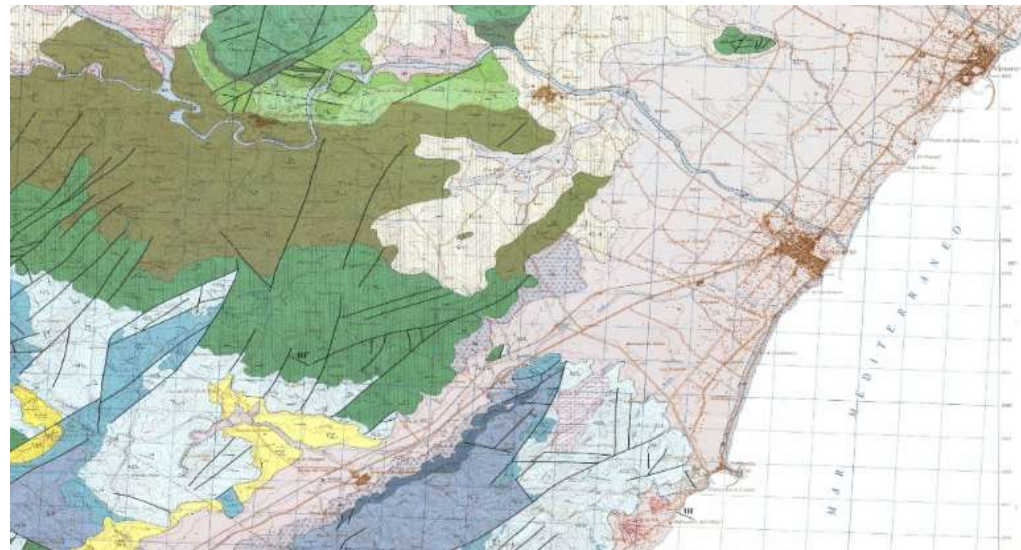


Figura 4. Mapa serie MAGNA. Fuente: Cartografía de la serie MAGNA del IGME.

Como podemos ver que el mapa se encuentra a una escala muy grande, intentamos agrandar un poco más fijándonos también en la leyenda presente (figura 5):

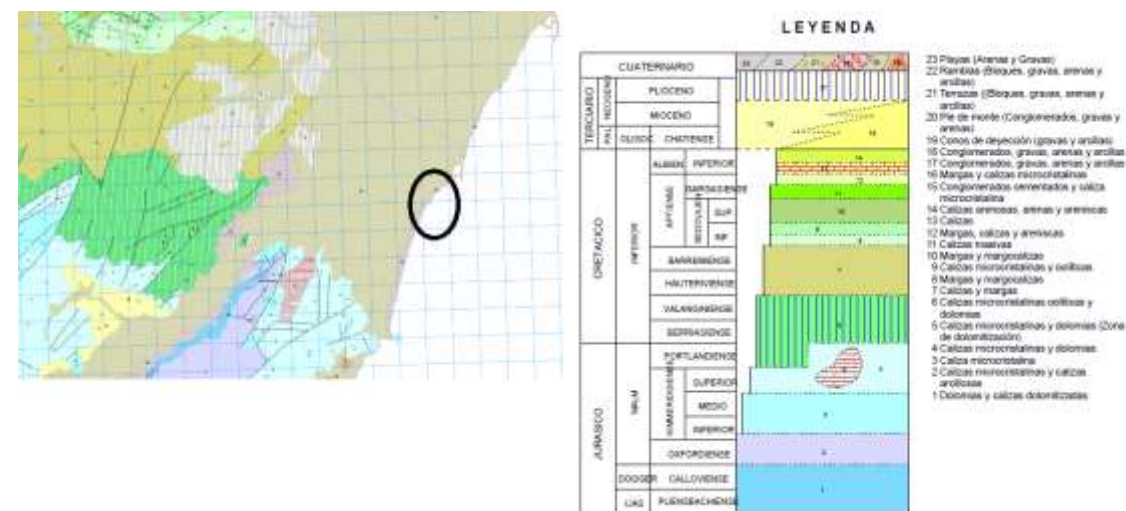


Figura 5. Elaboración propia sobre el mapa cartográfico de la serie MAGNA del IGME.

A partir de estos dos mapas obtenidos de la serie MAGNA de IGME, elaboramos un mapa geológico de detalle (figura 6):



Figura 6. Mapa geológico de detalle a escala 1/2.500. Fuente: Elaboración propia sobre mapa topográfico de Terrasit.

Como se puede apreciar en la foto, a partir de los mapas de la serie MAGNA del IGME, se obtienen dos zonas claramente diferenciadas (ambas pertenecientes al cuaternario) que son: por un lado, en la zona costera predomina el cuaternario de playa (**QL**) que se caracteriza por estar compuesto por materiales detríticos con gran heterometría de grano y por otro lado, la zona más interior, donde predomina el cuaternario indiferenciado (**Q**), caracterizado por grandes acumulaciones de cantos rodados calizos con potentes intercalaciones arcillosas.

Posteriormente, con ayuda de una serie de información extra, se ha deducido que el terreno que se encuentra por debajo del puente está constituido en su mayor parte por las gravas (**G**) que conforman el fondo de la rambla. La rambla desemboca en la playa con arenas (**A**) en su mayoría, y las paredes del cauce están conformadas por arcillas (**C**) con algo de margas. También se observa que aguas abajo se encuentran lodos de decantación (**L**) por encima de las gravas.

4.3. Topografía

A continuación se deja constancia de la topografía de la zona a través de un mapa obtenido de Terrasit, donde se pueden apreciar las distintas cotas del terreno (figura 7), donde se ve que la mayor cota del terreno se encuentra en el tablero a 3.48 m.



Figura 7. Mapa topográfico base a escala 1/2.500. Fuente: Mapa obtenido de Terrasit.

5. IDENTIFICACIÓN DEL TERRENO

5.1. Trabajos de campo realizados

Para la identificación de las características del terreno se han llevado a cabo los pertinentes trabajos de campo, dos sondeos mecánicos de las siguientes características y ubicados uno en cada extremo de la estructura, tal y como se aprecia en la imagen inferior:

- Sondeo SM-1 de 30 metros de profundidad del estribo sur.
- Sondeo SM-2 de 25 metros de profundidad del estribo norte.



Figura 8. Localización Sondeo SM-1 del estribo sur. Fuente: Elaboración propia sobre imagen obtenida de Google Maps.



Figura 9. Localización Sondeo SM-2 del estribo norte. Fuente: Elaboración propia sobre imagen obtenida de Google Maps.

Los sondeos se han realizado con una sonda de tipo TP-50, la cual cuenta con un diámetro de perforación de 115 y 86 mm y coronas de widia o diamante, en función de la naturaleza del terreno.



A determinados intervalos regulares o donde se produce un cambio en la naturaleza del terreno, se procede a tomar muestras inalteradas o a realizar ensayos de penetración con extracción de material residual (muestras alteradas). Esto se realiza con tal de analizar y deducir los parámetros físicos y la caracterización tenso-deformacional del terreno donde se ha de ubicar la estructura.

Los ensayos de penetración standard (SPT) se realizan mediante la hincas de un tomamuestras standard de 60 cm de longitud, expresando el resultado como el número de golpes necesarios para hincar los 30 cm centrales. En el caso de las muestras inalteradas, el resultado se obtiene como el 60% del valor indicado anteriormente. En caso de necesitar más de 50 golpes se califica la compacidad del terreno como muy densa, y se designa como rechazo.

Los cálculos geotécnicos se realizan utilizando la Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera, en la cual se utilizan los valores obtenidos en estos ensayos para la realización de las comprobaciones geotécnicas pertinentes.

5.2. Ensayos de laboratorio realizados

Se han realizado pruebas granulométricas y límites de Atterberg en las muestras tomadas en los sondeos. Adicionalmente, se han realizado las siguientes determinaciones sobre las muestras de tipo inalterado:

- Determinación de las densidades aparente y seca, según la Norma UNE-103-301-94.
- Determinación de la humedad, según la Norma UNE-103-300-93.
- Determinación de la resistencia a compresión simple, según la Norma UNE-103-400-93, controlándose la deformación de la probeta y obteniéndose la correspondiente curva tensión-deformación.

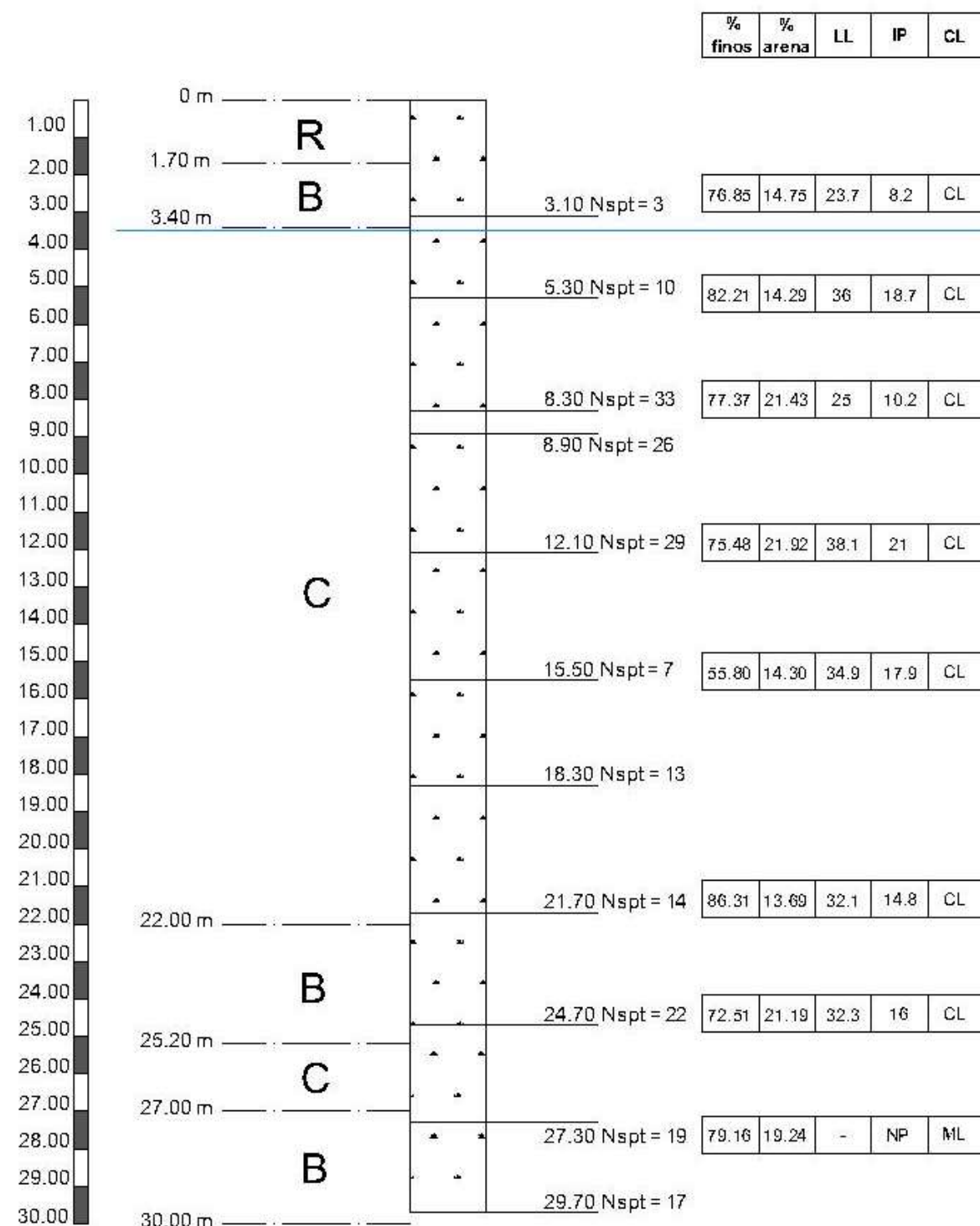
5.3. Resultados obtenidos

A continuación se muestran detalladamente los resultados obtenidos en cada uno de los sondeos, así como los extraídos a partir de los diferentes ensayos de laboratorio realizados sobre las muestras tomadas en campo.

También se muestra la descripción de la naturaleza y la estratigrafía hallada en cada uno de los sondeos, la cual se analizará posteriormente y se definirá detalladamente el tipo y las características de los materiales existentes en cada uno de los sondeos.

Los datos que se resumen en las siguientes imágenes han sido extraídos del Estudio Geotécnico realizado en el momento de la construcción de la obra existente actualmente, y que ha sido proporcionado por los profesores de la asignatura.

Sondeo SM-1



Nivel freático 3.48 m

R	Rellenos	Compuesto por rellenos de gravillas calcáreas y cantos calcáreos, en matriz de relleno arenosa. Superficialmente aparece una capa de aglomerado asfáltico de unos 15 cm de espesor.
B	Margas con vetas de arena	Compuesto por margas de color amarillento a verdoso, con vetas de arena y algunas gravillas (calcáreas y de tamaño medio 1 cm) ocasionales. De los ensayos SPT, se deduce una capacidad del terreno compacta. <i>*Aparece alguna pequeña contaminación de materia orgánica entre 2.40-3.40 m.</i> <i>*Aparece alguna subcapa limo-margosa intercalada entre 27-30 m.</i>
C	Arcillas con algo de arenas	Compuesto mayoritariamente por arcillas de color marrón rojizo con algo de arenas y, desde la cota relativa 6.80 m, con algunas trazas margosas (verdosas). Aparecen también nódulos de carbonato (generalmente milimétricos) de forma dispersa. De los ensayos SPT, se deduce una capacidad del terreno compacta. De los ensayos de compresión simple realizados en este nivel, se deduce que la consistencia varía de firme a muy firme.

Figura 10. Resultados obtenidos en los trabajos de campo y ensayos realizados en el sondeo SM-1 estribo Sur.

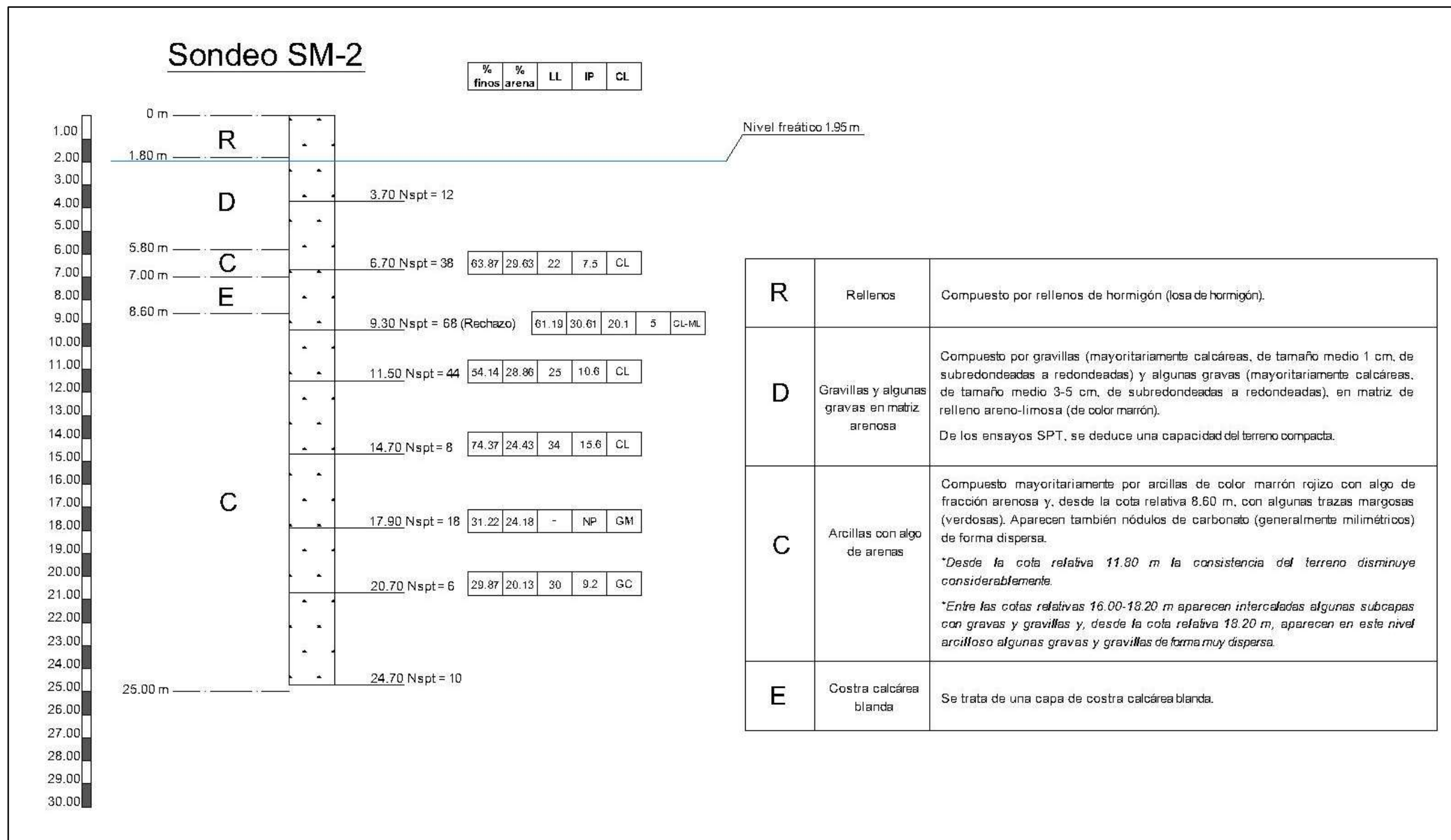


Figura 11. Resultados obtenidos en los trabajos de campo y ensayos realizados en el sondeo SM-2 estribo Norte.

6. DESCRIPCIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO

Para cada uno de los sondeos se ha realizado una clasificación estratigráfica a partir de los resultados de los trabajos de campo y de laboratorio, analizándolos y extrayendo sus propiedades y parámetros tenso-deformacionales con ayuda de tablas y gráficos.

En la imagen se muestra la división realizada sobre el terreno, la cual analizaremos detalladamente a continuación.

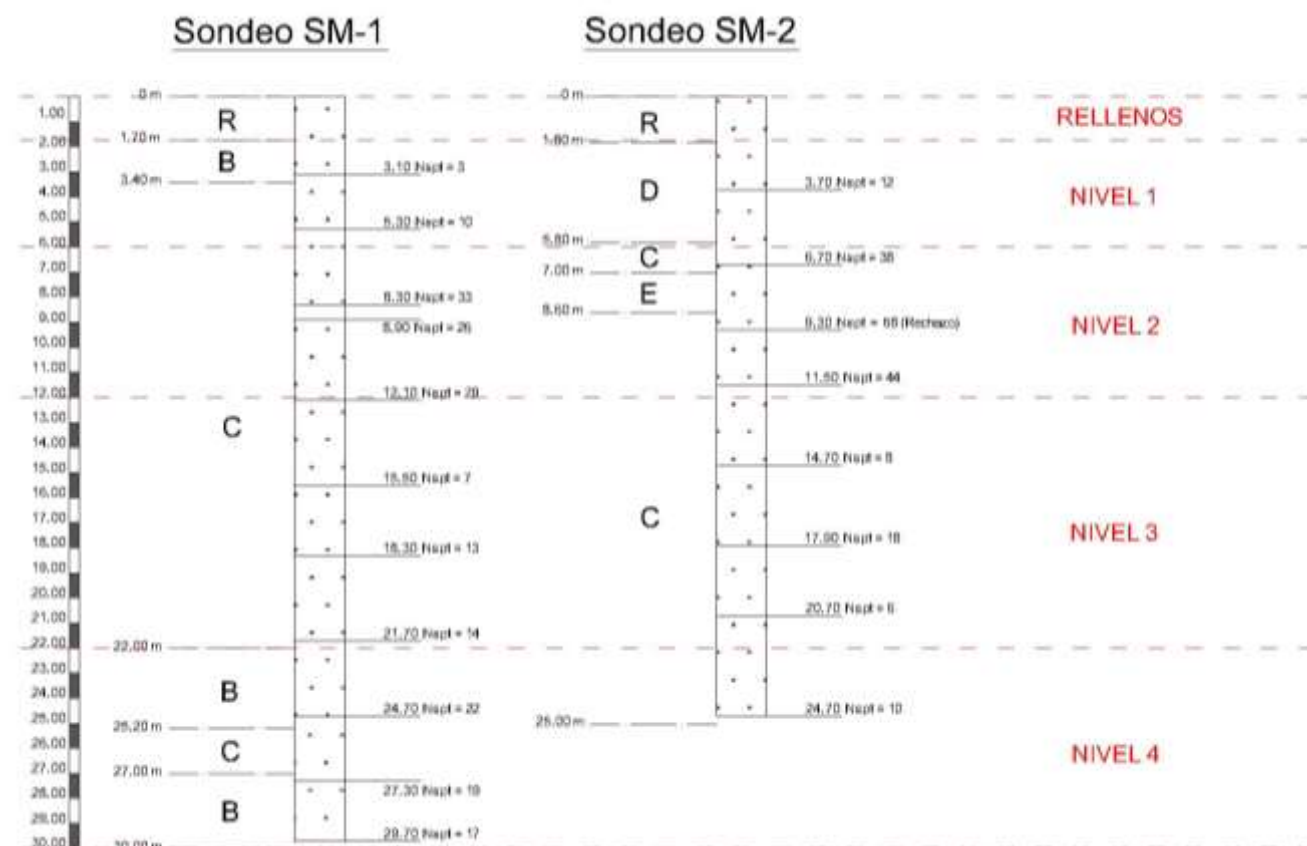


Figura 12. Perfil geotécnico del terreno. Fuente: Elaboración propia mediante AutoCAD.

6.1. Sondeo SM-1 del estribo Sur

La identificación del terreno realizada en el apartado anterior nos muestra claramente un terreno cohesivo en la totalidad del sondeo SM-1, exceptuando el relleno superior de 1.70 metros de potencia que está formado por gravillas y cantos calcáreos en matriz de relleno arenosa.

En función de la descripción obtenida a partir de los ensayos, se describe el terreno inferior como mayoritariamente arcillas con algo de arenas, intercaladas en niveles de menor potencia por margas con vetas de arena y algunas gravillas.

Basándonos en los resultados obtenidos tanto en el ensayo SPT como en la granulometría y los límites de Atterberg, decidimos dividir el sondeo en cuatro niveles distintos de suelo cohesivo, debido a las diferencias existentes en estas características en función principalmente de la profundidad a la que se encuentra cada material. Para ello, en el libro "Curso de cimentaciones" del autor J.M. Rodríguez Ortíz, encontramos un cuadro donde se relacionan los parámetros característicos del suelo, y de donde podemos extraer el peso específico, la humedad natural, la cohesión efectiva y el ángulo de rozamiento efectivo para cada uno de estos niveles arcillosos.

En la siguiente tabla se muestran de forma resumida los parámetros geotécnicos extraídos de la tabla anteriormente mencionada para cada uno de los niveles existentes en el terreno donde va a ubicarse la estructura, los cuales serán utilizados para realizar los cálculos y comprobaciones geotécnicas pertinentes.

	Cotas	Descripción	γ (t/m ³)	γ_{sum} (t/m ³)	w (%)	ϕ' (°)	c' (t/m ³)	ϕ'_r	K (m/s)
Nivel 1	1.70-6.00 m	Arcilla de baja plasticidad	2.05	1.10	21	28	3.75	24	$1 \cdot 10^{-8}$
Nivel 2	6.00-12.00 m	Arcilla de baja plasticidad	2.20	1.20	14	32	1.5	28	$2 \cdot 10^{-9}$
Nivel 3	12.00-22.00 m	Arcilla de plasticidad media	1.80	0.85	38	20	8	10	$5 \cdot 10^{-8}$
Nivel 4	22.00-30.00 m								

Tabla 1. Parámetros geotécnicos del terreno del Sondeo SM-1. Fuente: Valores obtenidos a partir de los ensayos realizados y las correlaciones oportunas.

Los resultados obtenidos tanto en los ensayos granulométricos como en los límites de Atterberg para los niveles 1 y 2 en los que hemos separado nuestro terreno son prácticamente similares, pero se ha decidido realizar esta separación en cuanto a parámetros debido al importante salto existente entre los valores del ensayo SPT. Estos resultados varían desde valores en torno a 10 golpes necesarios en el ensayo SPT a valores superiores a 30, de los que se deduce que el nivel 2 posee una mayor compacidad (suelo grueso).

Por ello se decide clasificar ambos niveles como arcillas de baja plasticidad, tomando los valores intermedios y superiores respectivamente del rango de parámetros correspondientes a este tipo de terreno.

Los niveles que aparecen a continuación poseen una compacidad moderada, y por tanto se trata de suelo fino, con unas características granulométricas y de límites de Atterberg que permiten clasificarlas como arcillas de plasticidad media.

Geológicamente se consideran como dos niveles de terreno diferentes (nivel 3 y 4), ya que existe una pequeña variación entre los resultados de los ensayos realizados, sin embargo en cuanto a las características geotécnicas del terreno se considerarán globalmente aquellas extraídas de la tabla que corresponden a arcillas de plasticidad media.

Realizando correlaciones y aproximaciones sobre los valores de dicha tabla, tomaremos las siguientes características del terreno para el nivel superior de rellenos:

- Densidad seca y densidad saturada: 17 kN/m³
- Humedad: 5%
- Densidad aparente: 16.42 kN/m³
- Ángulo de rozamiento efectivo: 35°

Se considera que el material cohesivo se encuentra saturado, ya que debido a la baja permeabilidad que posee, el agua permanece en el terreno. Sin embargo, el nivel freático se encuentra en la cota 3.48 m, coincidiendo con el nivel del mar.

Además, se trata de un material normalmente consolidado ya que se ha ido depositando por decantación. Para los cálculos que se realicen a largo plazo, se considera la cohesión efectiva igual a 0.

Por otro lado, se han realizado ensayos de resistencia a compresión simple, obteniendo la correspondiente curva tensión-deformación. Al haberse realizado sobre las muestras inalteradas, en los materiales del nivel 3 hay un poco de incertidumbre, ya que se cuenta únicamente con dos resultados de resistencia, entre los cuales existe una importante dispersión (1.09 y 2.82 kp/cm² en las cotas 8.30 y 12.10 m respectivamente). Quedándonos del lado de la seguridad, y debido a que la gráfica extraída del segundo de los sondeos nos muestra un ensayo inacabado y no se está seguro de si los valores obtenidos son correctos, se realizarán una serie de ponderaciones y se tomará como valor significativo de la resistencia a compresión simple del terreno 195 KPa. Sin embargo en el resto de niveles de importancia para el cálculo geotécnico, se tienen como datos de resistencia a compresión simple los siguientes: para el nivel 1, $R_u = 150$ KPa y para el nivel 2, $R_u = 200$ KPa.

6.2. Sondeo SM-2 del estribo Norte

En el sondeo SM-2 podemos encontrar, como en el caso anterior, un pequeño estrato de rellenos compuesto en este caso por material granular muy denso, descrito en el ensayo como hormigón. Para este estrato, tomaremos las siguientes características, considerándolo como un material granular denso.

- Peso específico: 25 kN/m³
- Ángulo de rozamiento efectivo: 35°

Siguiendo la división en cuatro niveles que hemos realizado para el sondeo SM-1, nos encontramos un nivel 1 compuesto por material granular, como se indica en la descripción dada por el ensayo se trata de gravillas y algunas gravas mayoritariamente calcáreas, en matriz de relleno areno-limosa. No poseemos datos de ensayos de laboratorio que argumenten esta descripción, únicamente contamos con el valor obtenido en el ensayo SPT, el cual es igual a 12 e indica una compacidad del terreno mucho menor que el que nos encontramos por debajo. Al tratarse de un suelo granular obtenemos su ángulo de rozamiento efectivo con ayuda de la siguiente tabla que relaciona éste con el N_{SPT} ; y de donde extraemos un valor igual a 30°.

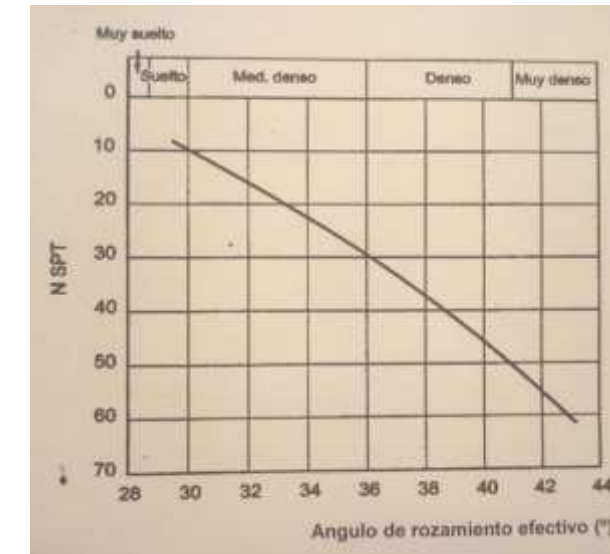


Figura 13. Tabla que relaciona N_{SPT} –Ángulo de rozamiento efectivo (°). (B.Peck, 2014)

Conociendo el ángulo de rozamiento efectivo y la clasificación de Casagrande (que se nos proporciona en los resultados de los ensayos: GP) obtenemos el resto de parámetros característicos del nivel 1 de material granular con ayuda de la siguiente tabla.

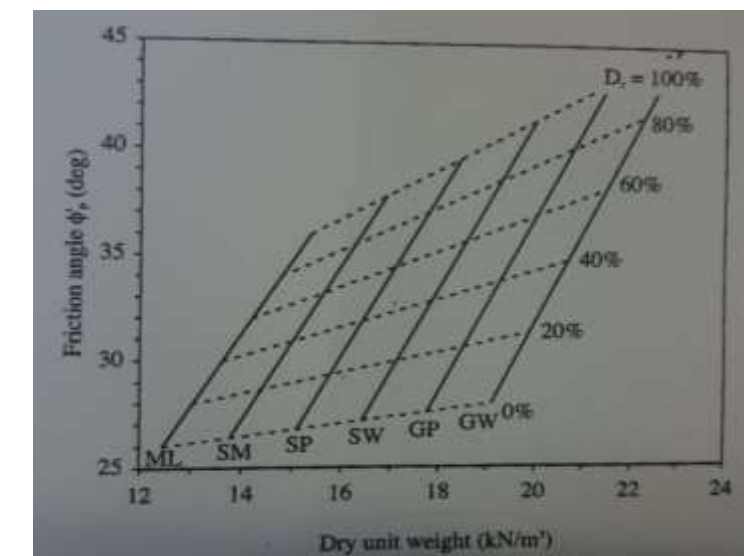


Figura 14. Correlación entre ángulo de rozamiento efectivo, peso seco unitario, densidad relativa y clasificación de Casagrande, para suelos granulares. (NAVFAC, 1982)

- Densidad seca: 18.70 kN/m³
- Densidad sumergida: 9.20 kN/m³
- Densidad saturada: 19.20 kN/m³

Debido a la existencia de material granular en este nivel, es posible que haya agua acumulada en el terreno, por lo que se considera en este estribo el nivel freático en la cota 1.95 metros (tomando como referencia de cotas el inicio del sondeo, y como signo positivo la dirección hacia abajo).

A partir de este nivel aparece como en el sondeo anterior terreno cohesivo, exceptuando en este caso un estrato de potencia 1.60 metros en el que encontramos costra calcárea blanda. Este estrato no afectaría en gran medida a nuestra cimentación ya que como se indica más adelante se ha decidido realizar una cimentación profunda mediante pilotes, la cual apoyaría en estratos inferiores.

El terreno cohesivo ha sido descrito en el informe extraído de los ensayos como arcillas con algo de arenas, pero como bien se puede observar en la caracterización del terreno los resultados de los ensayos varían considerablemente en función de la profundidad a la que nos encontramos. Por ello se mantiene la división del terreno por niveles que se ha realizado en el primer sondeo, al igual que los parámetros obtenidos para cada uno de ellos.

En este caso, podríamos considerar únicamente tres niveles distintos en el terreno al tratarse de una longitud menor de sondeo; además no se poseen datos de ensayos de laboratorio en el último tramo y por el valor del ensayo SPT se puede considerar igual que el nivel 3.

A partir del nivel 3, la consistencia del terreno disminuye considerablemente, pudiendo aparecer en este estrato algunas subcapas con gravas y gravillas.

7. ESTUDIO DE SOLUCIONES

Mediante la realización de los dos sondeos indicados anteriormente (sondeo SM-1 en el estribo sur y sondeo SM-2 en el estribo norte) en la localización de la cimentación y los posteriores ensayos de laboratorio, se ha obtenido la identificación y la caracterización tenso-deformacional del terreno.

A partir de esta caracterización del terreno se ha realizado un breve estudio de soluciones para decidir la tipología de cimentación óptima en el caso estudiado.

En primer lugar, lo primero que se considera es la posibilidad de realizar una cimentación directa, situando el plano de cimentación apoyado sobre el estrato de suelo grueso (separación entre el nivel 1 y 2) a una profundidad de entre 5.3 m y 6 m. Considerando los elevados esfuerzos transmitidos por la estructura sería necesaria una superficie de cimentación excesiva para las dimensiones del puente objeto, teniendo en cuenta que nuestra estructura no es muy voluminosa, es decir, es constituye un puente de apenas 45 m de longitud.

Además una de las primeras pautas o regla, predominante para llevar a cabo el Anteproyecto de esta estructura era la de no invadir en ningún momento la rambla, durante el servicio de la estructura ya que durante la construcción se invade en ciertas ocasiones (demolición, colocación de apeos para la puesta progresiva del elemento principal...). Esto implica que las cargas que recibiría el estribo quedarían excéntricas y daría lugar a una disposición del estribo algo peculiar y de no mucha seguridad al necesitar una gran superficie de zapata y tener menos de 3 m en la zona del intradós del muro que llegaría a la zapata.

En segundo lugar, la otra opción a estudiar sería una cimentación semiprofunda o mediante cajones indios. Esta solución, en una primera instancia, podría resultar factible desde un punto de vista analítico y constructivo. Sin embargo, dicha solución se podría descartar al ser necesaria la construcción de un recinto totalmente estanco mediante tablestacas, medida de una envergadura y un coste económico excesivo respecto al puente que se pretende construir. También cabe mencionar, el escaso conocimiento por parte de los participantes de este

Anteproyecto respecto al cálculo de cimentaciones semiprofundas o más específicamente, al cálculo de cajones indios.

Por último, tras observar los inconvenientes que presentan las tipologías anteriores, por lo que las descartamos. Se opta por una cimentación profunda mediante pilotes, decidiendo a continuación entre los métodos de construcción de éstos. Las cimentaciones profundas se pueden llevar a cabo de muchas formas (pilotes hincados, pilotes perforados...). Además, se pueden utilizar una gran variedad de pilotes, tanto variedad geométrica (circular, cuadrados, formas poligonales...) como variedad constructiva (macizos, huecos...). También, los pilotes pueden ser de muchos tipos de materiales (acero, hormigón...). Se terminará concluyendo el tipo concreto que se utilizará, descartando los inadecuados.

Los pilotes hincados tienen como principal inconveniente las vibraciones que se producen al introducirlos en el terreno. Junto a la zona de acción, hay una gran cantidad de viviendas y edificios que se podrían ver afectados de estas vibraciones. No obstante, también es cierto que el alcance de éstas podría no llegar a producir ningún tipo de daño estructural a las viviendas e instalaciones colindantes, pero simplemente podría llegar a provocar una inseguridad ciudadana, con lo cual, se opta por no realizar este tipo de pilotes.

Por lo que se toma finalmente la decisión de realizar una cimentación profunda entubada mediante pilotes perforados de hormigón "in-situ". Se realiza una cimentación entubada ya que en el estribo norte se tiene una pequeña capa de material granular y es necesario entubar con este tipo de materiales. Aunque es cierto que los materiales cohesivos tienen la suficiente compacidad como para llevar a cabo la operación de perforación sin necesidad de entubar, se realiza la entubación en la longitud total del pilote y en ambos sondeos. Realmente la problemática de entubar es su coste, por lo que al ser necesario entubar por el tramo de material granular se opta por entubar por completo las perforaciones, para mayor seguridad y ya que el aumento de coste que produce es mínimo.

En un principio se vieron las ventajas de traerlo prefabricado porque la estructura principal es completamente de acero. Sin embargo, debido a las limitaciones de transporte de 12 m, siendo los pilotes de 15 m de longitud se optó por realizarlos in-situ. En el anejo que aparece a continuación se describen detalladamente sus características y dimensiones y se realizan las comprobaciones geotécnicas necesarias para verificar su cumplimiento. Así como se explica el proceso constructivo y los materiales utilizados como relleno.

8. REFERENCIAS

B. Peck, K. T. (2014). *Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica*. 2 edición.

Bonet Senach, J. L. (septiembre de 2015). *Poliformat.upv.es*. Obtenido de *Poliformat.upv.es*: https://poliformat.upv.es/portal/site/GRA_12852_2015/page/6194904e-3390-4505-ba72-b142b720e572

Conselleria d'infraestructures, t. i. (2016). *Terrasit.gva.es*. Obtenido de *Terrasit.gva.es*: <http://terrasit.gva.es/>

España., I. G. (s.f.). *IGME.es*. Obtenido de *IGME.es*: <http://www.igme.es/>

NAVFAC. (1982).

Rodríguez Ortiz, J. M. (1989). *Curso Aplicado de Cimentaciones*. 4.

